

PENGARUH BERAT MOLEKUL ADITIF PADA PENAMPANG MELINTANG DAN KARAKTERISTIK MEMBRAN SERAT BERONGGA POLISULFON, YANG DIAMATI DENGAN ALAT *SCANNING ELECTRON MICROSCOPY*

Syahril Ahmad

Puslitbang Kimia Terapan-LIPI
Jl. Cisit, Bandung 40135

INTISARI

Penampang melintang serat membran polisulfon yang dipintal dengan proses kering dan basah telah dipelajari. Komposisi membran yang diamati terdiri atas Polisulfon (PS) 16%, pelarut Dimetilasetamida (DMAc) 60% dan Polietilen glikol (PEG) 24%. Berat molekul PEG yang dipakai adalah 200, 300 dan 400 Dalton. Serat membran dikarakterisasikan dengan larutan dekstran untuk mendapatkan koefisien rejeksi dan pemotongan berat molekulnya. Penampang membran serat berongga diamati dengan alat *Scanning Electron Microscopy*.

Hasil percobaan memperlihatkan bahwa berat molekul polietilen glikol aditif yang dipakai dalam pemintalan membran serat berongga akan mempengaruhi bentuk penampang serat dan pemotongan berat molekul membran yang diperoleh. Penelitian ini bertujuan untuk memperkirakan ukuran pori membran yang dibuat berdasarkan variasi berat molekul aditif yang dipakai.

ABSTRACT

Cross section of polysulfone membranes hollow fiber spun by dry - wet process have been studied. Composition of membrane observed composed of 16% Polysulfone (PS), 64% dimethyl Acetamide (DMAc) as solvent and 18% Polyethylene glycol (PEG) as additive. Molecular weight of polyethylene glycols used were 200, 300 and 400 Daltons. Fiber of membranes were characterized by dextrane solution to find rejection coefficient and molecular weight cut - off of the membrane. Cross sections of hollow fiber membranes were observed by *Scanning Electron Microscopy* (SEM).

Results of the experiment show that, molecular weight of polyethylene Glycol additive used in spinning of hollow fiber membrane affects form of cross section of substructure and molecular weight cut - off the membrane obtained. This research was aimed to predict the pore size of membrane made based on molecular weight of additive used.

PENDAHULUAN

Penampang serat membran sangat erat hubungannya dengan sifat polimer, sifat pelarut, sifat aditif, komposisi larutan polimer, kondisi pencetakan dan kondisi koagulasi disaat pembuatan membran tersebut⁽¹⁾. Belum ditemukan dalam literatur yang membahas pengaruh pelarut, aditif terhadap penampang serat membran. Kebanyakan membran yang ada dipasaran dibuat dengan cara

pembalikan fasa (*Phasa inversion*) dimana hasil cetakan (*casting*) dicelupkan kedalam larutan yang bersifat bukan pelarut polimer dan membran yang diperoleh merupakan membran asimetris^(2,3,4). Pada umumnya bahan polimer yang dipakai untuk membuat membran komersial adalah polimer hidrofobik, seperti polimer polisulfon, polipropilen, fluoropolimer. Bahan-bahan polimer tersebut mudah menyerap protein sehingga menimbulkan terbentuknya lapisan pada permukaan membran (*fouling*) yang akan memperlambat laju alir fluks^(5,6). Proses terjadinya perpindahan zat terlarut dan pelarut lewat membran tidak hanya dipengaruhi oleh sifat membran, tetapi juga oleh distribusi ukuran pori, sifat larutan yang akan dipisahkan seperti ukuran dan sifat kimia/fisik zat terlarut, tekanan operasi, kondisi operasi, konsentrasi zat terlarut, suhu larutan umpan dan waktu operasi⁽⁷⁾.

Dalam percobaan dilakukan pengamatan penampang melintang serat membran yang dibuat dengan berat molekul PEG aditif berbeda, untuk mengetahui pengaruh berat molekul aditif terhadap karakteristik dan bentuk penampang serat membran tersebut. Penampang serat membran diamati dengan alat *Scanning Electron Microscopy*. Perbedaan berat molekul aditif akan berpengaruh pada ukuran pori membran, oleh sebab itu hasil penelitian ini berguna dalam pembuatan membran selanjutnya untuk memperkirakan ukuran pori membran yang akan dibuat sesuai dengan yang diinginkan.

BAHAN DAN METODA

Bahan:

Untuk percobaan ini diperlukan bahan pro-analisis sebagai berikut, polimer polisulfon (Aldrich), pelarut DMAc (Merck), aditif polietilen glikol (PEG dengan BM 200, 300 dan 400 (Merck), bahan ini dapat bercampur baik dengan pelarut dan polimer⁽⁸⁾, asam sulfat (Merck), larutan standar dekstran (Sigma) dengan bermacam berat molekul (BM. 9.5 K, 19.6 K, 49 K, 70 K, 162 K dan 266 K, larutan ini merupakan larutan standar yang biasa dipakai dalam karakterisasi membran ultrafiltrasi) dan gliserin (Sigma) sebagai pengawet membran.

Peralatan:

Peralatan utama yang penting antara lain, satu set alat pintal membran model SSP 2020D buatan Jepang, alat SEM (JEOL), Spektrofotometer (Milton Roy Spectronic 1201), alat testing membran (alat pengukuran fluks yang dapat mengamati laju alir fluks serta tekanan operasi yang dipakai), viskometer Brookfield, pompa peristaltik, timbangan analitik dan peralatan gelas lainnya.

Pemintalan membran

Membran dipintal secara proses kering dan basah seperti yang disebutkan dalam literatur⁽⁹⁾ dengan komposisi polisulfon (PS) (16%), pelarut dimetilasetamida (DMAc) (60%) dan sebagai aditif dipakai polietilen glikol (PEG) dengan berat molekul berbeda yaitu 200, 300 dan 400. Larutan yang dipakai sebagai koagulan tengah dan koagulan luar adalah air. Pemintalan membran serat berongga dilakukan pada kondisi sebagai berikut; suhu pemintalan (suhu kamar), laju alir larutan polimer (5 ml/menit), laju alir larutan koagulan tengah (2.5 ml/menit), kecepatan alat gulung (10 putaran/menit), suhu larutan koagulan tengah dan koagulan luar (suhu kamar). Sedangkan jarak antara *spinneret* kepermukaan air koagulan luar yaitu 12 cm. Sebelum pemintalan semua larutan polimer dianalisa terlebih dulu viskositasnya dengan alat viskometer Brookfield.

Pengetesan membran

Pada setiap serat membran yang didapat dengan berat molekul aditif berbeda dibuatkan bundelnya yang terdiri atas 30 lembar serat dengan panjang sekitar 40 cm. Bundelan dibuat dengan memasang slang plastik pada kedua ujung serat dan kemudian pada kedua ujung tersebut diberi lem epoksi resin sehingga antara serat membran menyatu. Untuk membuka rongga bagian tengah serat maka pada kedua ujung bundelan dipotong sekitar 1 cm atau sampai semua rongga membran terbuka. Bundelan serat membran selanjutnya dites fluks airnya dan kemudian dilanjutkan dengan larutan dekstran yang berbeda berat molekulnya untuk mengetahui koefisien rejeksi membran serta pemotongan berat molekul (MWCO, *molecular weight cut-off*) membran.

Analisa SEM

Masing-masing serat membran yang dipintal dengan berat molekul aditif berbeda dianalisa bentuk potongan penampangnya dengan peralatan *Scanning Electron Microscopy* (SEM, JEOL). Sebelum serat membran diamati dengan peralatan SEM, serat membran disiapkan dengan cara sebagai berikut, agar bentuk penampang serat tidak berubah, maka pada serat membran yang akan diamati dicelupkan kedalam nitrogen cair dan disaat serat menjadi keras/beku serat dipatahkan kira-kira 0,5 cm. Kemudian patahan serat tersebut dipasang berdiri diatas sampel holder dengan ujung patahan menghadap keatas. Pada patahan serat ini bersama sampel holdernya dilakukan pelapisan dengan emas. Tahap berikutnya baru diamati penampang

serat tersebut dengan peralatan SEM sesuai dengan perbesaran yang diinginkan.

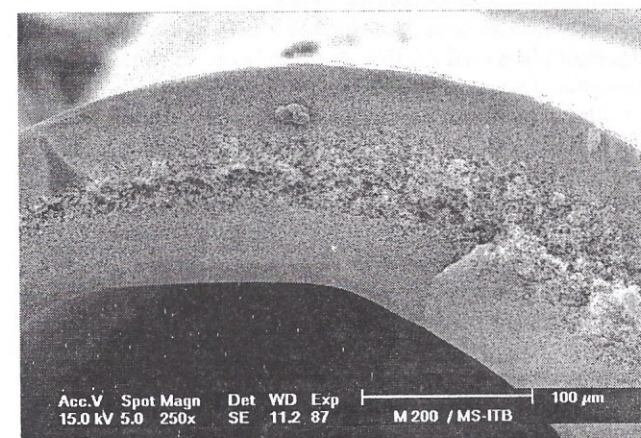
HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada tabel berikut (Tabel 1) dapat dilihat hasil pengukuran viskositas larutan polimer yang akan dipintal dengan berat molekul aditif berbeda. Disini jelas terlihat bahwa viskositas larutan polimer erat hubungannya dengan berat molekul aditif yang dipakai. Semakin besar berat molekul aditif PEG yang dipakai dalam campuran polimer maka akan semakin besar viskositasnya. Harga viskositas yang tercantum dalam Tabel 1 adalah viskositas campuran antara polisulfon, DMAc dan PEG. Viskositas larutan polimer akan berpengaruh pada proses laju alir pembalikan fasa disaat koagulasi, dimana untuk larutan polimer yang berviskositas tinggi akan menurunkan laju alir penetrasi koagulan kedalam larutan polimer dan memperlambat pelepasan pelarut dari larutan polimer.

Tabel 1. Viskositas larutan polimer yang akan dipintal

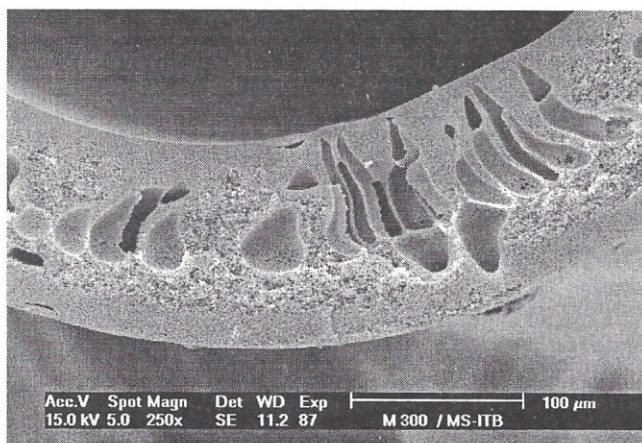
Membran no.	BM. PEG aditif (Dalton)	Viskositas (cP)
1.	200	1250
2.	300	1275
3.	400	1465

Pada Gambar 1 sampai dengan Gambar 3 dapat dilihat penampang membran serat berongga yang dibuat dengan berat molekul aditif berbeda. Dalam Gambar 1 terlihat penampang melintang serat membran yang dibuat dengan aditif PEG berberat molekul 200 Dalton.



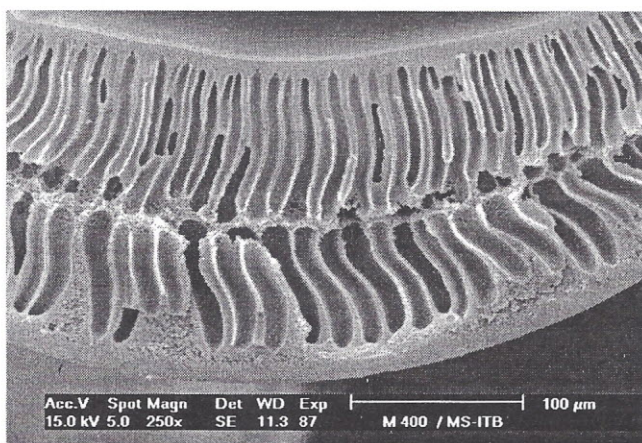
Gambar 1. Penampang serat membran dengan aditif PEG 200 (pembesaran 250X)

Disini terlihat pada penampang serat bagian dalam dan luar didapatkan bagian yang berpori halus, sedangkan pada bagian tengahnya terbentuk pori yang agak lebih kasar. Hal ini disebabkan karena koagulasi lebih cepat terjadi pada permukaan luar dan dalam serat membran. Disamping itu juga disebabkan karena ukuran berat molekul aditif yang dipakai mempunyai berat molekul kecil.



Gambar 2. Penampang serat membran dengan aditif PEG 300 (pembesaran 250X)

Gambar 2 memperlihatkan bentuk penampang membran hampir serupa dengan Gambar 1. Daerah bagian tengah yang berpori kasar lebih lebar dibanding dengan Gambar 1 karena berat molekul aditif yang dipakai lebih besar sehingga ukuran pori yang terbentukpun lebih besar. Selain itu pada Gambar 2 juga didapatkan rongga-rongga besar yang berbentuk panjang dan bulat. Terbentuknya rongga besar ini mungkin disebabkan oleh adanya udara yang terperangkap dalam larutan polimer, sehingga disaat koagulasi berlangsung membentuk rongga.

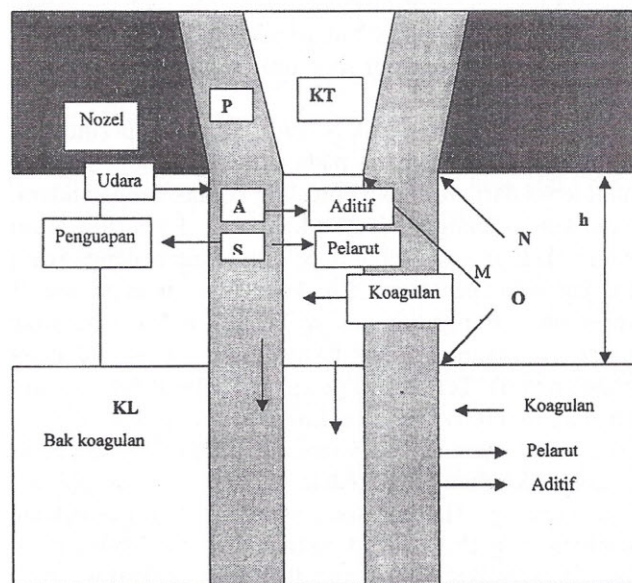


Gambar 3. Penampang serat membran dengan aditif PEG 400 (pembesaran 250X)

Gambar 3 memperlihatkan bentuk yang berbeda dengan Gambar 1 dan Gambar 2, dimana penampang serat membran yang terbentuk mempunyai alur seperti jari-jari sepeda. Semua alur ini mengarah dari permukaan dalam membran ke arah permukaan luar, sedangkan pada bagian tengahnya terdapat lapisan berbentuk lingkaran sebagai tempat berakhirnya masing-masing alur tadi. Penampang tersebut menyerupai dua lapis jari-jari sepeda yang dibatasi dengan lingkaran pada bagian tengahnya. Alur celah pada bagian dalam lebih halus dibanding dengan alur celah bagian luar. Alur celah bagian dalam yang mengarah pada permukaan dalam membran berakhir pada permukaan yang sangat tipis yang disebut sebagai kulit membran. Pada kulit

membran ini terdapat pori-pori membran yang sangat halus dan berfungsi untuk mengatur perpindahan senyawa yang akan melintasinya dalam proses pemisahan, sedangkan pada permukaan luar serat ukuran porinya lebih kasar sehingga tidak dapat berfungsi dalam mengatur perpindahan senyawa yang melintasinya. Terbentuknya pori halus pada permukaan dalam serat membran, disebabkan karena permukaan dalam tersebut lebih dulu kontak dengan larutan koagulan tengah, dan proses ini terjadi apabila larutan koagulan tengah dan koagulan luar sama-sama air⁽⁹⁾.

Terbentuknya dua lapisan celah yang menyerupai jari-jari terjadi karena proses koagulasi berlangsung dari dua arah yaitu dari arah dalam dengan adanya koagulan tengah dan dari arah luar dengan adanya koagulan luar. Pembentukan penampang serat membran yang berbeda saat pemintalan dapat diterangkan sebagai berikut; diwaktu larutan polimer keluar dari *nozel*, permukaan bagian dalam serat hasil pintalan langsung kontak dengan larutan koagulan tengah sehingga proses koagulasi langsung terjadi. Lain halnya dengan permukaan luar serat, disini serat hasil pintalan kontak dengan udara. Setelah serat hasil pintalan berjalan sejauh h cm (jarak antara *nozel* ke permukaan air koagulan luar) baru permukaan luar serat kontak dengan koagulan luar sehingga proses koagulasi terjadi dari arah luar serat. Pada Gambar 4 dapat dilihat mekanisme terjadinya koagulasi.



Gambar 4. Mekanisme koagulasi dalam pembuatan membran serat berongga

Keterangan :

- P = Polimer; S = Pelarut; A = Aditif
- KL = Koagulan luar; KT = Koagulan tengah
- h = Jarak *nozel* ke permukaan air koagulan luar
- M = Titik polimer mulai kontak dengan koagulan (titik awal koagulasi dalam)
- N = Titik polimer mulai lepas dari *nozel* (titik awal penguapan pelarut bagian luar)
- O = Titik polimer mulai kontak dengan koagulan luar (titik awal koagulasi luar)

Dalam Gambar 4 terlihat bahwa disaat larutan polimer hasil pintalan lepas dari *nozel* didapatkan dua titik yang mengalami proses berbeda. Titik pertama adalah titik M yaitu titik pada permukaan dalam serat hasil pintalan, dimana pada titik ini mulai terjadi kontak antara polimer dengan larutan koagulan tengah. Titik M ini merupakan titik mulai terjadinya proses koagulasi, (dimana pelarut yang ada dalam larutan polimer akan pindah kedalam larutan koagulan, sedangkan koagulan atau bukan pelarut akan masuk kedalam larutan polimer), sehingga terjadilah perubahan fasa polimer dari cair kepadat. Proses ini akan berlangsung sampai semua pelarut yang ada dalam larutan polimer pindah kedalam larutan koagulan dan sebaliknya larutan bukan pelarut masuk kedalam polimer. Terjadinya pembalikan fasa larutan polimer akan membentuk penampang serat yang bermacam-macam (dapat berupa *sponge*, *finger*, *foam* dan bentuk lainnya) tergantung pada sifat larutan polimer dan jenis larutan koagulan⁽¹⁰⁾. Pada percobaan ini didapatkan penampang serat berupa alur rongga yang berupa jari-jari, yang arahnya kepermukaan bagian dalam permukaan serat. Besar kecilnya ukuran rongga ini dipengaruhi oleh berat molekul aditif dalam larutan polimer dan kecepatan pelepasan pelarut dari polimer dan penetrasi bukan pelarut kedalam polimer. Bila laju pelepasan pelarut lebih besar dari laju penetrasi bukan pelarut maka didapatkan membran yang lebih rapat atau dengan kata lain porositasnya rendah^(11,12). Laju pelepasan pelarut dan laju penetrasi bukan pelarut dipengaruhi oleh sifat kelarutan, temperatur dan tegang permukaan larutan⁽¹²⁾.

Titik kedua adalah titik N, yaitu titik pada permukaan bagian luar serat, dimana pada titik ini larutan polimer mulai lepas dari *nozel* dan langsung kontak dengan udara, bukan kontak dengan larutan koagulan. Pada titik N ini mulai terjadi proses pelepasan pelarut ke udara dengan cara penguapan dan penetrasi udara kedalam larutan polimer⁽⁹⁾. Proses ini berlangsung sampai larutan polimer berjalan sejauh *h* cm (sampai serat hasil pintalan kontak dengan koagulan luar). Terjadinya pelepasan pelarut dengan cara penguapan menyebabkan konsentrasi polimer pada permukaan bagian luar serat semakin tinggi. Semakin besar harga *h* maka akan semakin banyak pelarut dalam polimer akan menguap. Hal ini akan menghasilkan permukaan membran yang lebih padat dengan jumlah pori lebih sedikit, karena terbentuknya pori yang disebabkan penetrasi udara kedalam polimer sangat kecil. Setelah serat berjalan sejauh *h* cm (serat mencapai titik O) baru serat kontak dengan larutan koagulan luar dan disini terjadi lagi proses koagulasi seperti pada proses titik M. Pada titik O ini proses pembalikan fasa polimer terjadi dimana penetrasi bukan pelarut dan pelepasan pelarut berlangsung bersamaan. Hasil dari proses koagulasi pada lapisan polimer bagian luar ini juga memberikan rongga yang menyerupai jari-jari yang mengarah pada permukaan luar serat membran, hanya saja ukurannya berbeda dengan alur rongga pada lapisan bagian dalam karena pada bagian luar ini sebagian pelarut sudah menguap selama kontak dengan udara. Besar

kecilnya rongga alur pada lapisan luar ini dipengaruhi juga oleh besar kecilnya harga *h* (jarak antara *nozel* kepermukaan air koagulan luar). Kalau harga *h* terlalu besar, tentunya pelarut yang menguap akan semakin banyak karena waktu kontak dengan udara lebih lama dan sisa pelarut yang akan pindah kedalam larutan koagulan luar semakin sedikit. Akibatnya struktur membran akan semakin padat atau rongga yang terbentuk akan semakin sempit.

Proses koagulasi yang disebutkan diatas adalah proses yang terjadi bila dalam larutan polimer hanya terdapat polimer dan pelarut. Dalam pemintalan atau pencetakan membran, selain polimer sebagai bahan utama, ditambahkan bahan aditif lain dengan berbagai tujuan, misalnya untuk meningkatkan jumlah pori atau untuk meningkatkan viskositas agar memudahkan dalam pemintalan⁽¹³⁾. Persyaratan bahan yang dapat dipakai sebagai aditif adalah bahan tersebut harus dapat bercampur baik dengan pelarut dan polimer, dan sebagai aditif bahan yang biasa dipakai dalam pembuatan membran antara lain adalah polietilen glikol, polivinilpirrolidon, litium klorida dan senyawa lainnya.

Untuk membran yang dipintal dengan adanya senyawa aditif didalam larutan polimer maka ditemukan proses lain selama berlangsungnya koagulasi, yaitu proses melarutnya senyawa aditif kedalam larutan koagulan. Dengan melarutnya senyawa aditif kedalam larutan koagulan dan masuknya koagulan/bukan pelarut ke dalam larutan polimer sehingga menempati ruang yang ditempati aditif semula mengakibatkan jumlah pori membran yang terbentuk akan bertambah. Karena proses koagulasi dalam pemintalan membran serat berongga terjadi pada bagian luar dan dalam, maka proses pelepasan aditif ini juga terjadi pada kedua bagian tersebut seperti terlihat pada Gambar 4.

Berikut ini (Tabel 2) dapat dilihat pengaruh dari perbedaan berat molekul aditif terhadap fluks membran.

Tabel 2. Fluks membran dengan standar dekstran (1000 ppm)

BM. Dekstran (kilo Dalton)	Fluks (L/m ² .jam)		
	BM PEG 200	BM PEG 300	BM PEG 400
9,5	74,64	80,82	86,55
19,6	67,02	71,25	77,58
40,0	59,40	65,55	67,44
70,0	54,51	59,70	62,37
162	48,42	51,81	57,72
266	41,73	44,58	48,33

Pada Tabel 2 dengan jelas terlihat bahwa membran yang dibuat dengan aditif PEG yang mempunyai berat molekul yang lebih tinggi akan memberikan fluks yang lebih besar. Disini fluks terbesar didapatkan pada membran dengan PEG aditif berberat molekul 400 yaitu sebesar 86,55 (L/m².jam). Semakin besar berat molekul larutan umpan, akan semakin kecil fluks yang dihasilkan. Tabel berikut

menyajikan hasil koefisien rejeksi membran terhadap larutan standar dekstran.

Semakin kecil berat molekul aditif yang dipakai dalam pembuatan membran, maka akan semakin besar koefisien rejeksi yang didapat. Ukuran pori membran yang terbentuk akan semakin kecil bila berat molekul aditif yang dipakai berberat molekul rendah. Ini dibuktikan dari kemampuan membran menolak larutan dekstran dengan berat molekul yang sama.

Dari kurva antara koefisien rejeksi dan berat molekul dekstran (bentuk kurva umumnya berupa huruf S, kemiringan kurva akan mempengaruhi MWCO), didapatkan harga pemotongan berat molekul (MWCO) membran yang dibuat dengan aditif PEG 200, 300 dan 400 berturut-turut adalah 158, 257 dan 543 kilo Dalton. Angka MWCO menunjukkan bahwa membran dapat menahan senyawa yang berberat molekul seharga MWCO tersebut sebesar 90%. MWCO ini menggambarkan ukuran pori membran dimana MWCO besar, pori membranpun besar karena senyawa yang dapat ditahannya bermolekul besar. Ukuran pori membran digambarkan sebagai ukuran molekul yang dapat ditahan oleh membran dengan satuan Dalton. Dengan membuat kurva antara MWCO dan BM aditif PEG yang dipakai dalam pembuatan membran maka dapat diperkirakan ukuran pori membran yang akan dibuat dalam satuan MWCO dengan ukuran Dalton. Disini juga jelas bahwa semakin besar berat molekul aditif yang ditambahkan dalam pembuatan larutan polimer, maka akan semakin besar harga MWCO yang didapat.

Tabel 3. Koefisien rejeksi membran terhadap larutan dekstran (1000 ppm)

BM. Dekstran (kilo Dalton)	Rejeksi membran (%)		
	BM PEG 200	BM PEG 300	BM PEG400
9,5	47,6	38,2	23,9
19,6	61,5	47,3	37,7
40,0	75,6	56,1	50,7
70,0	86,8	74,1	61,7
162	91,5	84,6	71,1
266	89,8	87,8	75,6

KESIMPULAN

Dari hasil percobaan dapat diberikan beberapa kesimpulan dimana antara lain adalah:

1. Berat molekul PEG aditif yang dipakai dalam pembuatan membran akan mempengaruhi viskositas larutan polimer, dimana PEG aditif yang berberat molekul besar akan menaikkan viskositas larutan.
2. Berat molekul aditif yang dipakai dalam pembuatan larutan polimer akan menentukan besar kecilnya ukuran pori atau rongga yang terdapat pada permukaan dan bagian dalam serat membran karena disini aditif berfungsi sebagai pembentuk pori.

3. Berat molekul PEG aditif berpengaruh pada bentuk penampang serat membran. Pada beberapa BM yang diuji didapatkan dari gambar-gambar SEM bahwa berat molekul PEG aditif berpengaruh pada bentuk penampang serat membran. Semakin besar berat molekul aditif yang dipakai dalam pembuatan membran maka akan semakin besar rongga yang terdapat pada bagian tengah penampang serat.
4. Pembuatan membran dengan aditif PEG yang bermolekul kecil akan memberikan membran yang mempunyai fluks rendah, koefisien rejeksi tinggi serta MWCO kecil.

DAFTAR PUSTAKA

1. H.H. Schwarz and H.G. Hicke, Influence of Casting Solution Concentration on Structure and Performance of Cellulose Acetate Membranes, *J. Membrane Sci.* 46 p.325-334, (1989).
2. S. Li.; C. Jiang.; and Y. Zhang, The Investigation of Solution Thermodynamics for the Polysulfone - DMAc - Water System, *Desalination*, 68, p. 79 - 88. (1987)
3. L. Broens, F.W. Altena, C.A. Smolders and D.M. Koenhen., Asymetric Membrane Structures as a Result of Phase Separation Phenomena. *Desalination* 32 p. 33-45, (1980).
4. J.G. Wijmans, J.P.B. Baaij and C.A. Smolders. The Mechanism of Formation Microporous or Skinned Membranes Produced By Immersion Preprecipitation. *J.Membrane Sci.* 14 p. 236 - 274, (1983).
5. K.B. Hvid, P.S. Nielsen and F.F. Stengaard., Preparation and Characterization of a New Ultrafiltration Membrane, *J. Membrane Sci.* 53. P. 184 - 202, (1990).
6. M. Kim, K. Saito, S. Funisaki. Water Flux and Protein adsoption of Hollow Fiber Modified with Hydroxyl Groups, *J. Membrane Sci.* 56 p. 289 - 302, (1991).
7. H. Balmann. The Deformation of Dextran molecules, Cause and Consequenes in Ultrafiltration, *J. Membrane Sci.* 40 p. 311-327, (1989).
8. T.A. Tweddle and C.N. Striez. Membrane Fabrication *Short Course and Driven Membrane Process - RO, UF and MF.* Canada, p. 3 - 4, (1994).
9. Park.C. Hasil diskusi selama training di KIST, Korea, (1996).
10. W. Pusch and A. Walch., Synthetic Membranes - Preparation, Structure, and Application., *Angrew. Chem.Int.Ed.Engl.* 21, p.660-685, (1982).
11. K. Kimmerle., H. Strathmann., Analysis of Structure Determining Process of Phase Inversion Membranes, *Desalination*. 79. p. 283-302, (1990).
12. C. Friedrich., A. Driancourt., C. Noel. And L. Monnerie. Asymetric Reverse Osmosis and Ultrafiltration Membranes Prepared From Sulfonated Polysulfone. *Desalination*. 36 p. 39 - 62, (1981).
13. M. Guiver. Membrane Materials : Current Practice and New Trends, *Short Course and Driven Membrane Process - RO, UF and MF.* Canada 24 Oktober - 2 September 1994.